



# ExpoSolar

Colombia 2017

Energía renovable para **todos**

# Modelos Innovadores de Utilización de Baterías y su uso Eficiente

Luis Miguel Diazgranados M.Sc.

# Mi Historia..



Universidad de  
**los Andes**  
Facultad de Ciencias



**GreenFactory**  
Fabricando un mejor ambiente

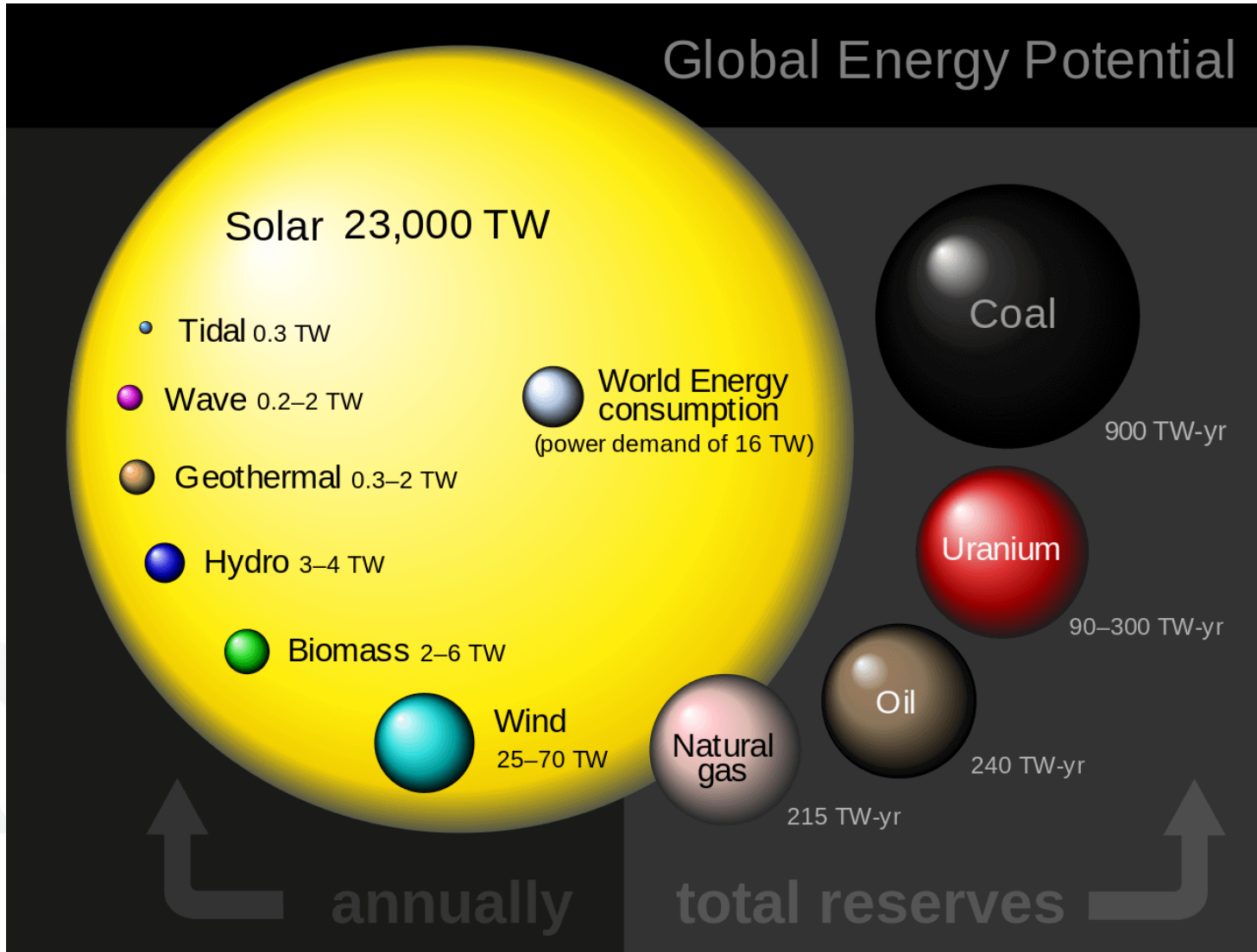


**Fraunhofer**  
ISE



**AURORA**  
solar innovation

# Potencial Global de Energia



# Y si es de noche?



# Fuentes Fluctuantes de Energía



Muchas de las **fuentes de energía renovable (ER)** son difíciles de controlar. La producción energética es **fluctuante** y hasta cierto punto **impredecible**.

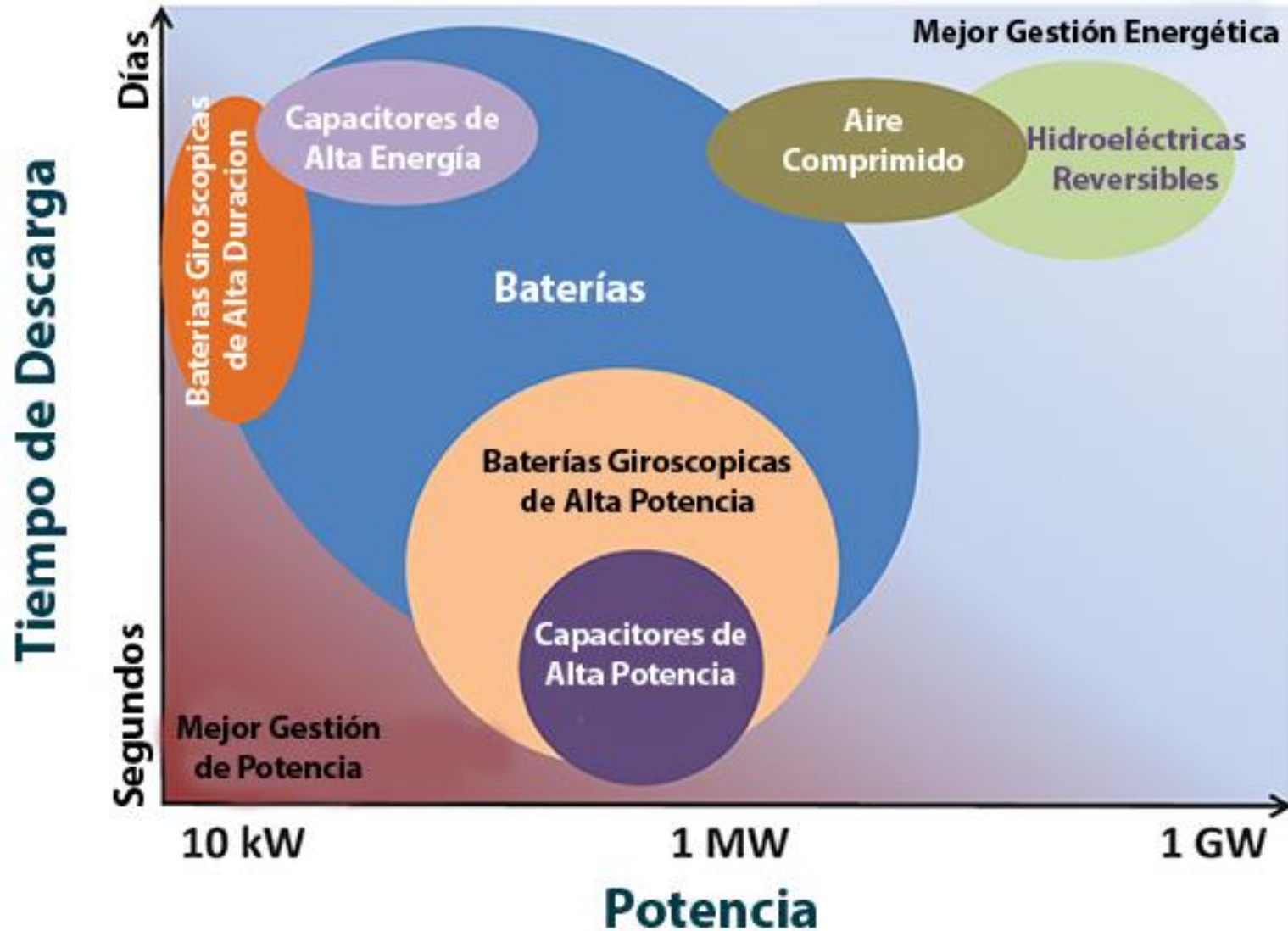
# Almacenamiento de Energía



Para **contrarrestar las fluctuaciones** en producción eléctrica, es necesario tener un sistema de **almacenamiento de energía**.

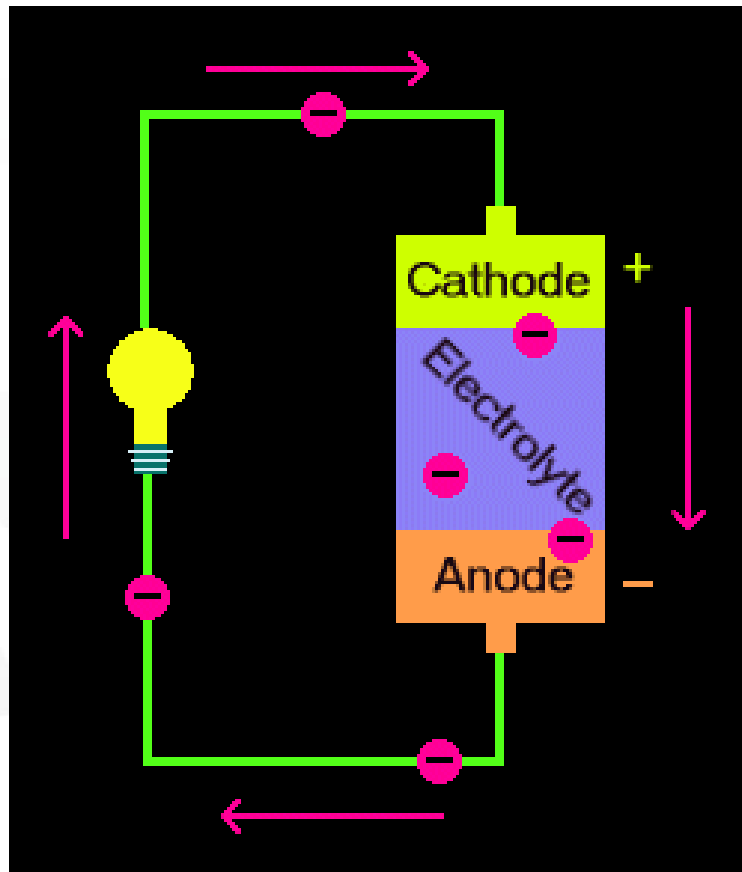
El sistema **almacena energía** cuando hay un **exceso** en la producción para ser **usada** cuando haya un **déficit** en la misma.

# Tecnologías Existentes





# Que es una Bateria?



- Un dispositivo capaz de **convertir energía química en energía eléctrica** y viceversa.
- Dentro de este dispositivo se llevan a cabo **reacciones químicas de oxidoreducción** las cuales generan un **flujo de electrones**.

# Tipos Más Comunes de Batería

## Baterías Plomo y Acido

### Baterías Ventiladas



### Baterías Selladas (VRLA)



## Baterías Ion de Litio



# Tipos de Batería: Comparación

	<b>Plomo y Acido Ventiladas</b>	<b>Plomo y Acido Selladas</b>	<b>Litio</b>
<b>Energía Especifica (Wh/kg)</b>	30	40	150
<b>Mantenimiento Frecuente</b>	Si	No	No
<b>Ciclos de Vida</b>	1200 @ 50% DOD	1000 @ 50% DOD	1900 @ 80% DOD
<b>Eficiencia</b>	80% @ C/4	80% @ C/4	98% @ C/4
<b>Auto-Descarga/ mes</b>	10%	4%	2%
<b>Costo Inicial (USD/kWh)</b>	65	120	600

# Tipos de Batería: Aplicaciones

## Ventiladas

Off-Grid/On-Grid  
autoconsumo

Sistemas con ciclado  
frecuente

Usuarios  
involucrados/ contrato  
de mantenimiento

Sistemas que usen  
equipos de baja  
calidad.

## Selladas (VRLA)

Off-Grid/On-Grid  
autoconsumo

Sistemas Off-Grid de  
difícil acceso

Sistemas de  
Suplencia On-Grid

## Litio

Off-Grid/On-Grid  
autoconsumo

Sistemas Off-Grid de  
difícil acceso

Sistemas pequeños  
(carros, barcos)

Aplicaciones con alta  
relación kW/kWh

Aplicaciones con  
ciclos incompletos

# Costo Nivelado de Almacenamiento

La inversión inicial no es el mejor indicador de costo



**LCOS**  
(\$/kWh ciclado)

$$= \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Capacidad x Ciclos x Eficiencia x DoD}} +$$

**Costos  
adicionales  
nivelados**

# Costo Nivelado de Almacenamiento



**\$65**

$1 \text{ kWh} \times 1200 \text{ FCE} \times 0.8 \text{ eff} \times 0.5 \text{ DoD}$

**\$ 0.13**

/kWh ciclado



**\$120**

$1 \text{ kWh} \times 1000 \text{ FCE} \times 0.8 \text{ eff} \times 0.5 \text{ DoD}$

**\$ 0.3**

/kWh ciclado



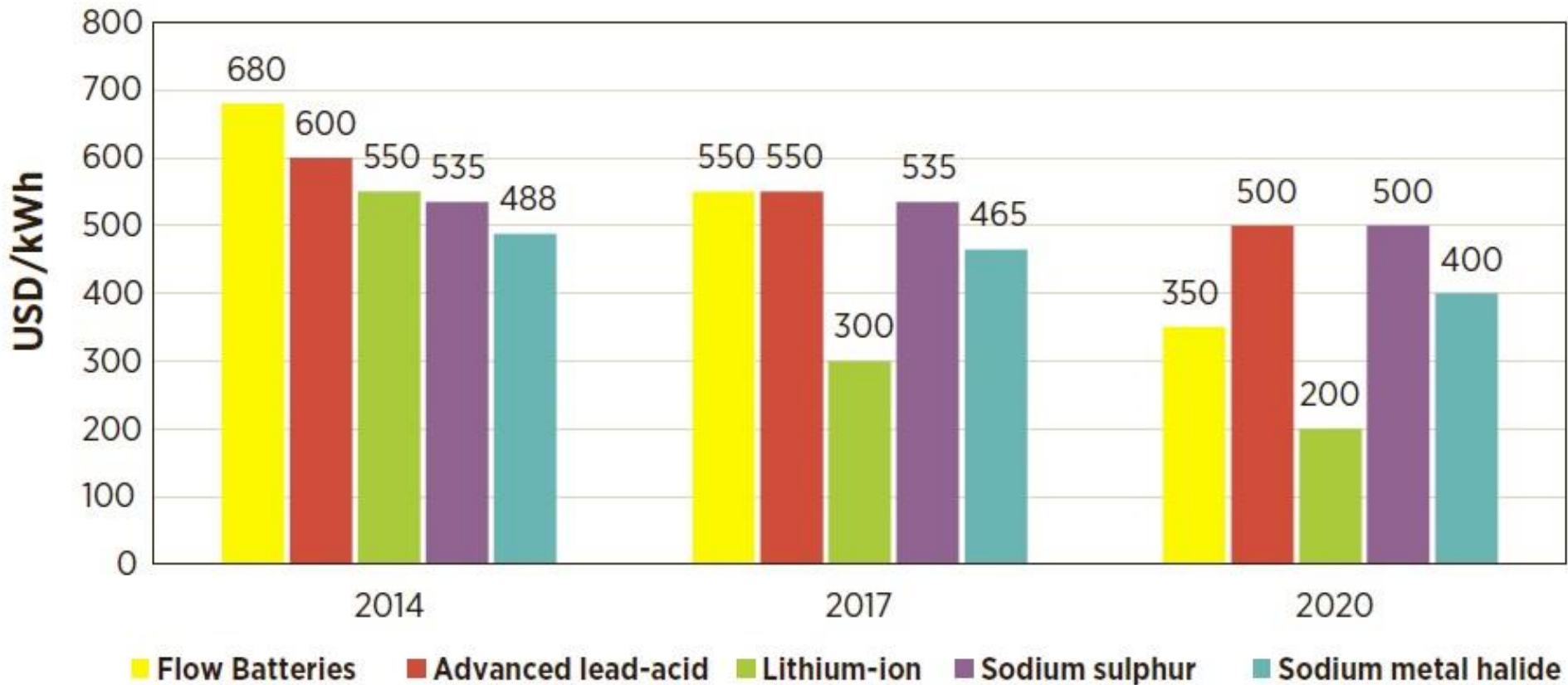
**\$600**

$1 \text{ kWh} \times 1900 \text{ FCE} \times 0.98 \text{ eff} \times 0.8 \text{ DoD}$

**\$ 0.4**

/kWh ciclado

# Reducción de Costos



Tomado de AECOM Energy Storage Study, 2015

# Viabilidad Financiera de las Baterías

Que tan viables son las aplicaciones más comunes que combinan baterías con REs?

Aplicación	Alternativa	Viable ?
Autoconsumo On-Grid (LCOS + LCOE)*	Energía de la Red (kWh red)	
Suplencia On-Grid (LCOS + LCOE)	Generador Eléctrico (LCOE)	
Autoconsumo Off-Grid (LCOS + LCOE)	Generador Eléctrico (LCOE)	
Telecomunicaciones Autonomas (LCOS + LCOE)	Ninguno	

$$\text{*LCOE} \quad (\$/\text{kWh producido}) = \frac{\text{Suma de costos durante el ciclo de vida del sistema}}{\text{Energía producida el ciclo de vida del sistema}}$$



# Modelos Innovadores de Utilización



- Se han desarrollado **aplicaciones innovadoras** para utilizar baterías en conjunto con ER **que incrementan viabilidad financiera** y pueden ofrecer **mayores ROIs**.
- Su **viabilidad** depende en gran medida del **contexto (natural, geográfico, económico, legislativo)** del país o región donde se implemente.

# Descarga Selectiva por Horario

## Contexto:

- En muchos lugares existen tarifas eléctricas con discriminación horaria.
- La diferencia de costos de energía entre horarios puede ser grande.

## Solución:

- Se optimiza la descarga de la batería para hacerse en horarios punta.

**Ejemplo:** Residencia con batería de 11.5 kWh

**Horarios Punta:**

6:00-8:00

19:00 -22:00

**Tarifa Valle:**

0.2 \$ / kWh

**Tarifa Punta:**

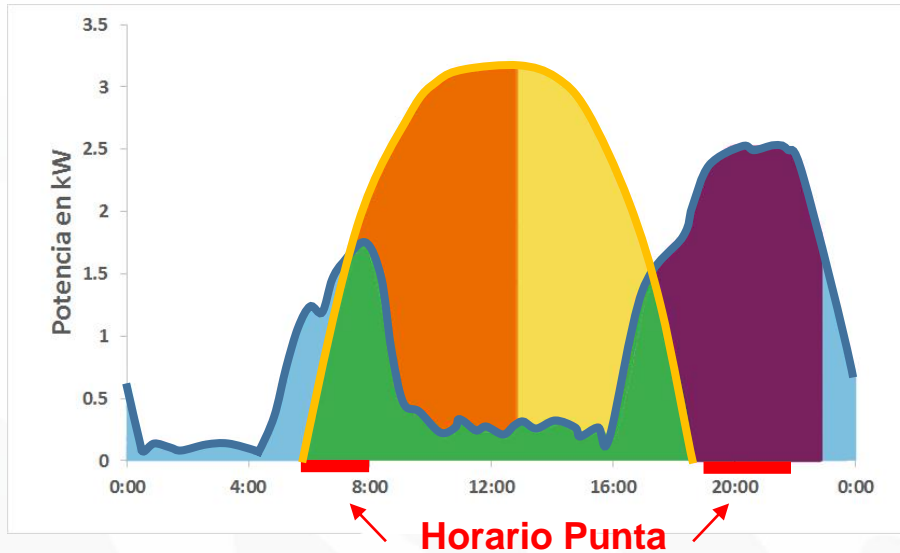
0.4 \$ / kWh

**LCOS + LCOE: 0.3 \$ / kWh**

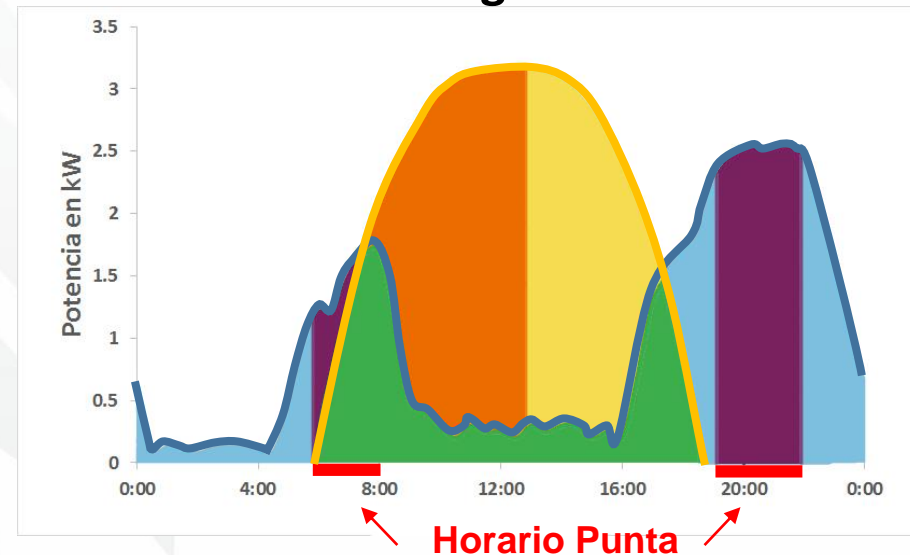


# Descarga Selectiva por Horario

## Sin Descarga Selectiva



## Con Descarga Selectiva



### Consumo desde Bateria:

Sin descarga selectiva: 11.5 kWh

Descarga selectiva: 8 kWh

### Ahorros:

Sin descarga selectiva: \$ 0.38 / día

Descarga selectiva: \$ 0.8 / día

Aumenta **110%**

# Reducción de Demanda Punta

## Contexto:

- Tarifas de demanda punta para grandes consumidores.
- Cobran por kW durante el periodo de 15 minutos con más alta demanda en el mes.
- El costo por kW de demanda es mucho más alto que el de kWh.

## Solución:

- Se consume energía de la batería solo cuando la demanda es mayor a un limite determinado.

**Ejemplo:** Industria con baterías de 100 kWh.

**Tarifa Energía:**

0.2 \$ / kWh

**LCOS + LCOE:**

0.15 \$ / kWh

**Tarifa Demanda Punta:**

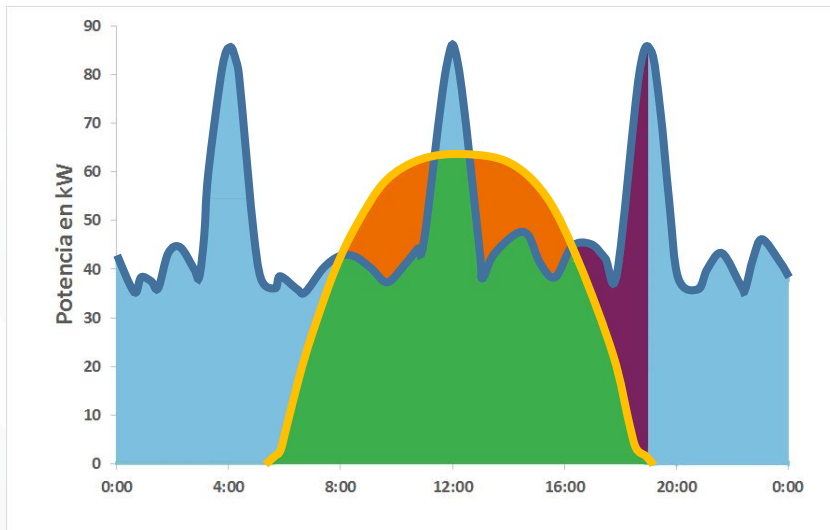
6.0 \$ / kW

Descarga a partir de 45 kW de demanda.



# Reducción de Demanda Punta

## Sin Reducción Demanda Punta



## Consumo desde Batería:

Sin red. demanda punta: 100 kWh

Descarga selectiva: 78 kWh

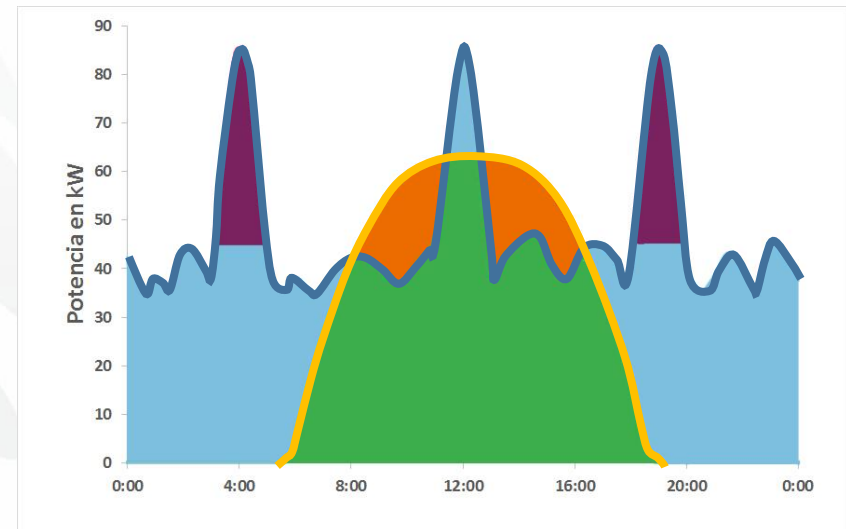
## Ahorros:

Sin descarga selectiva: \$ 150 / mes

Descarga selectiva: \$ 357 / mes

Aumenta **138% !!**

## Con Reducción Demanda Punta



# Reducción de Inyección Punta



## Problema:

En zonas **con alta participación de sistemas on-grid** pueden generarse **excesos de voltaje** en las redes de distribución.

# Reducción de Inyección Punta

## Contexto:

- En Alemania se paga por kWh inyectado a la red. No Net-Metering.
- Subsidios para baterías obliga a limitar potencia de inyección por debajo del 60% nominal de sistema FV.
- Se pierden ingresos potenciales por limitar producción energética.

## Solución:

- Se carga la batería durante los horarios con mayor irradiación.
- Ventajas para el usuario y red de distribución.

**Ejemplo:** Residencia con batería de 11.5 kWh

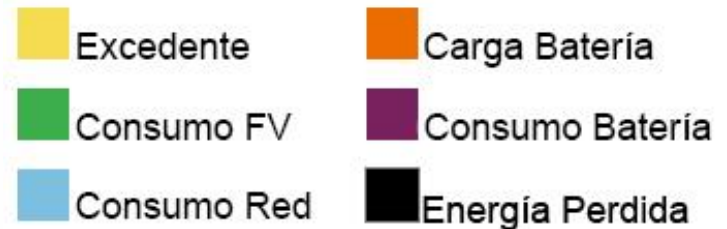
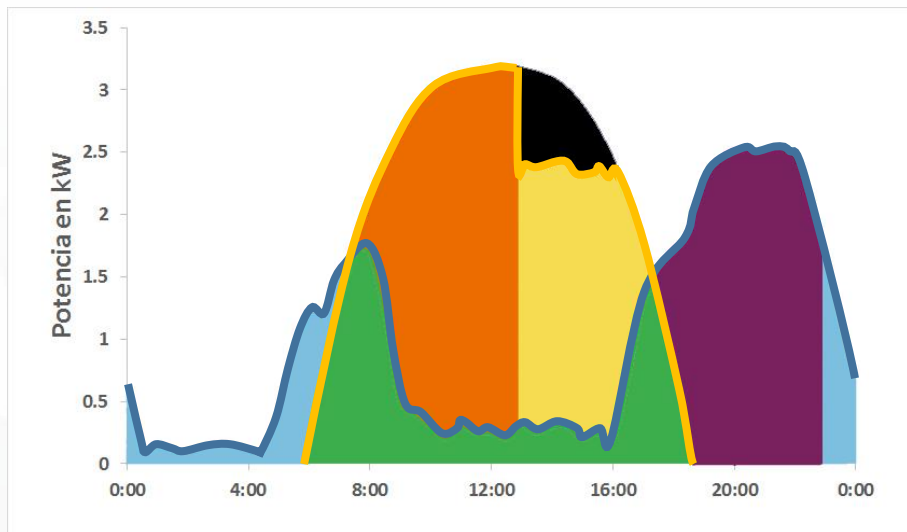
**Tarifa Energía:** 0.3 € / kWh

**Pago por inyección:** 0.1 € / kWh



# Reducción de Inyección Punta

## Sin Reducción Inyección Punta



### Carga Batería:

11.5 kWh en ambos casos

### Energía Perdida: Sistema amigable con la red!!!

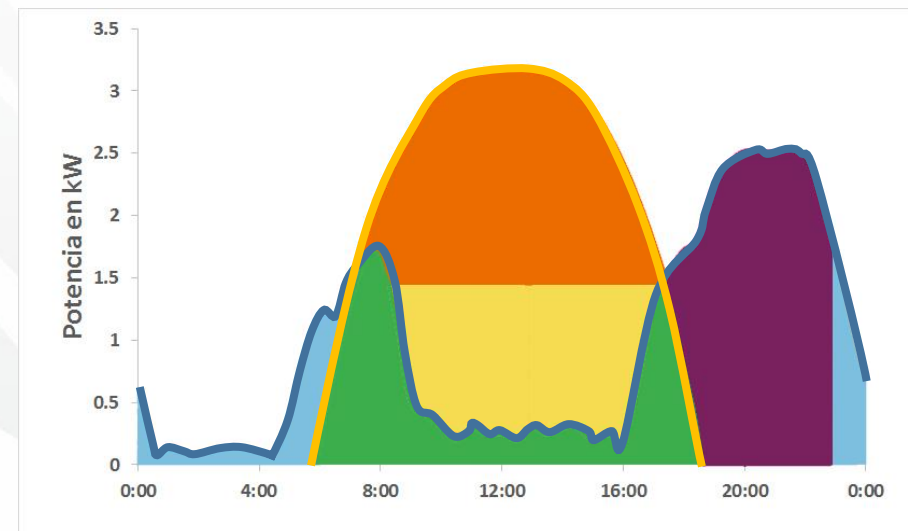
Sin Red. Inyección Punta: 2.8 kWh

Con Red. Inyección Punta: 0 kWh

### Ingresos Recuperados:

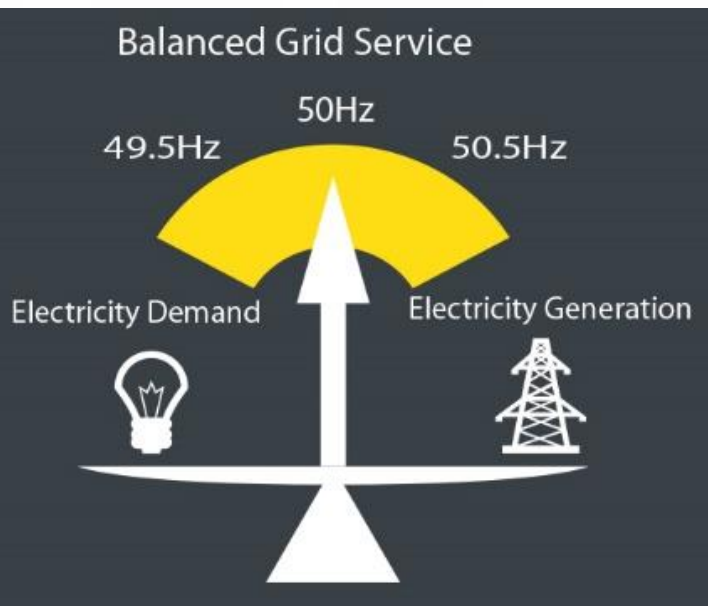
0.28 € /día

## Con Reducción Inyección Punta





# Regulación de Frecuencia

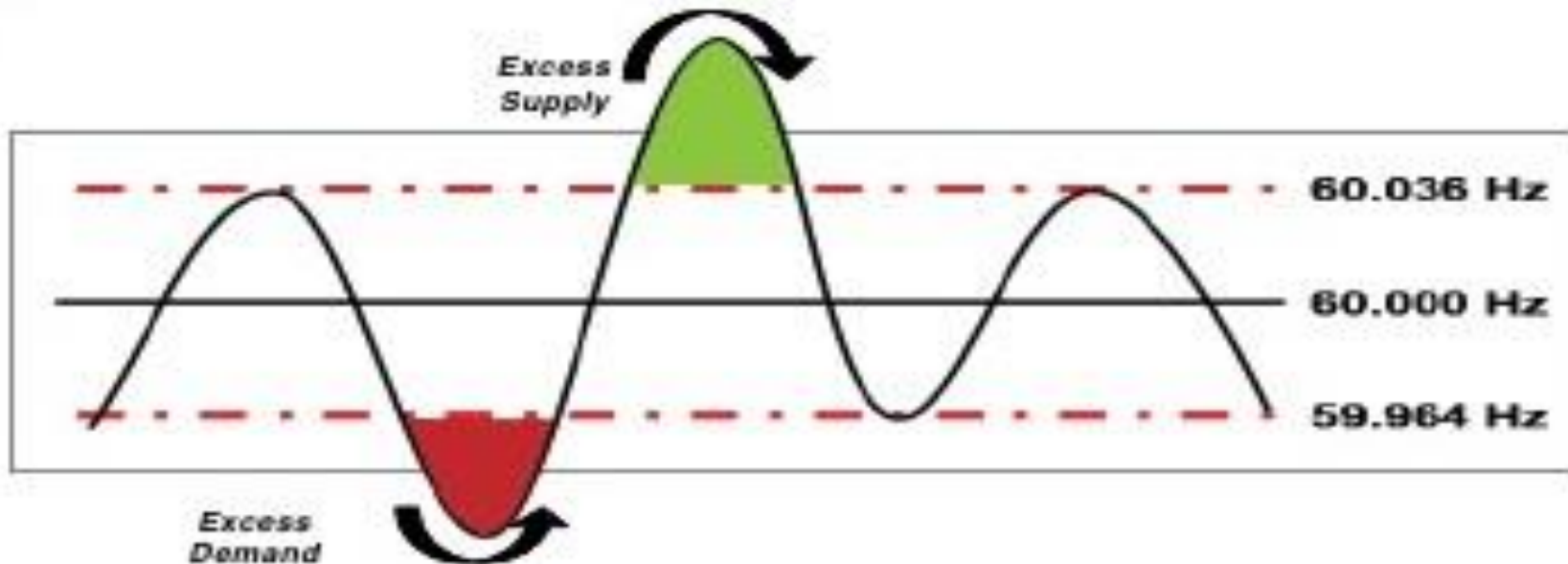


- La red eléctrica trabaja a una **frecuencia estable 60Hz** en Colombia.
- Su estabilidad depende de un **equilibrio** constante entre **producción y demanda**.
- Desviaciones grandes de frecuencia **dañan componentes de la red eléctrica**.
- Regulación ha sido proveído históricamente por plantas convencionales y el **calculo de sus costos es complejo\***
- **Mantener el equilibrio es más complicado en sistemas con alta participación de REs.**

\* Para mas info:

Hollinger et al. (2015) **Trends in the German PCR market: Perspectives for battery systems.**

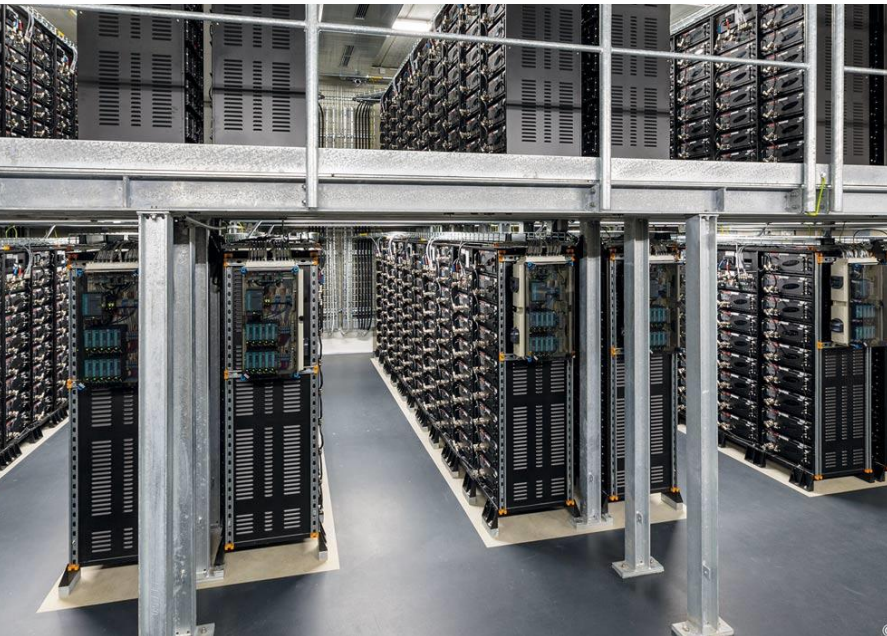
# Regulación de Frecuencia con Baterías



- Gracias a su capacidad de **modular su descarga rápidamente** y a su alta relación kW/kWh, las **baterías de litio** están siendo utilizadas para regulación de frecuencia.
- Crean **demanda (cargan)** cuando la **frecuencia es alta**, y **oferta (descargan)** cuando la misma es **baja**.

# Regulación de Frecuencia: Red

Se están utilizando para regular la frecuencia de la red interconectada con sistemas a gran escala...



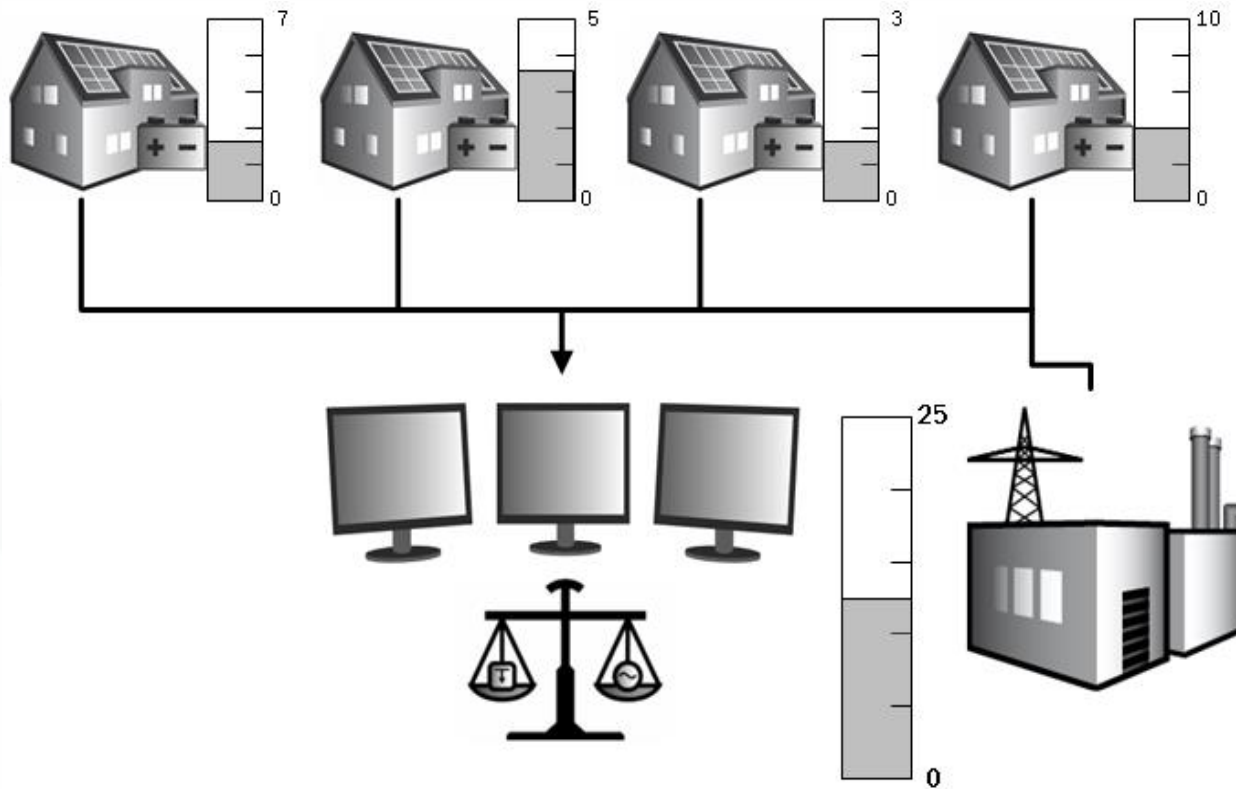
**Proyecto:** Schwerin, Alemania

**Capacidad:** 15 MW/15 MWh

**Desarrollo:** Younicos

# Regulación de Frecuencia: Red

y combinando virtualmente sistemas a pequeña escala.



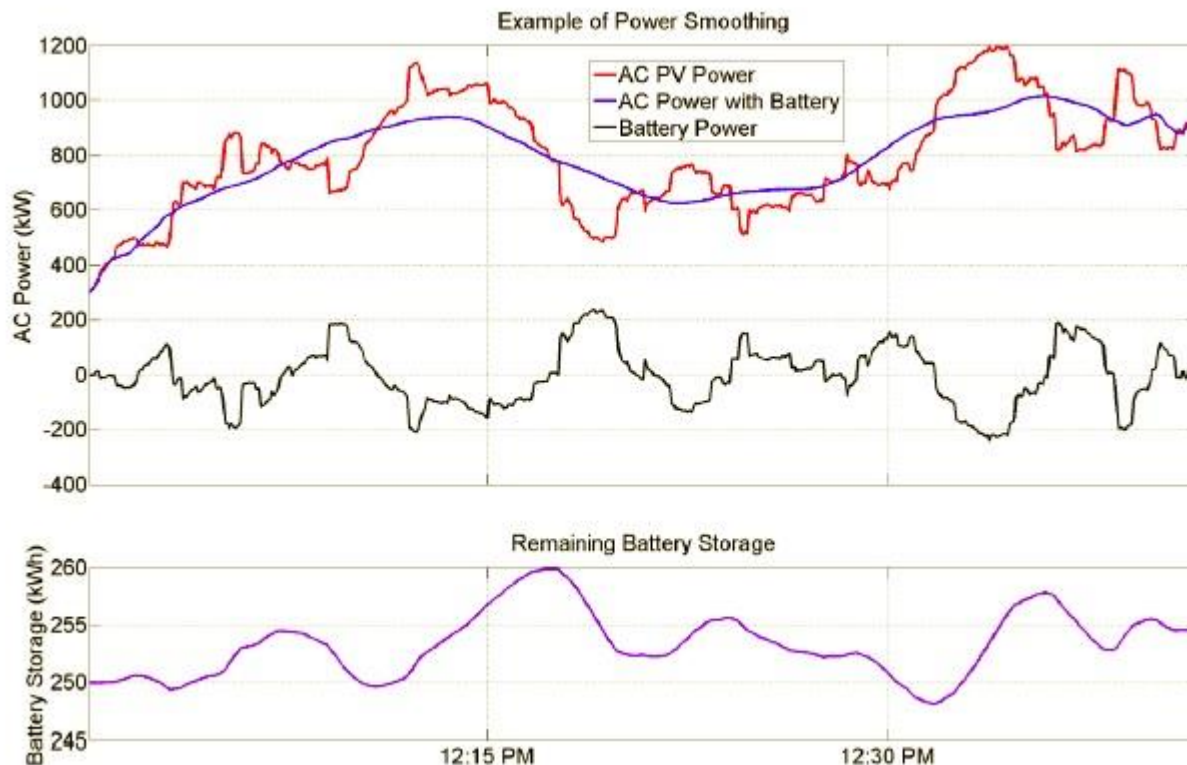
**Proyecto:** NET-PV

**Capacidad:** 10 kW/10 kWh por sistema

**Desarrollo:** Fraunhofer ISE

# Regulación de Frecuencia: Redes Aisladas

En **redes aisladas** es necesario usar baterías para poder tener **participación de ERs mayores al 15-25%**. Las baterías se pueden usar para **“suavizar”** la potencia de las ERs, facilitando el **seguimiento a la demanda** por parte de los generadores fósiles.



# Regulación de Frecuencia: Redes Aisladas

Isla Graciosa, Azores: 100% Energía Renovable para 4500 personas



**Capacidad:** Batería 4 MW/3.4 MWh, Eólica 4.5 MW, Solar 1MW

**Desarrollo:** Yunicos

# Y en Colombia ??

Aunque la **tecnología tiene el potencial**, el **contexto nacional** presenta algunas **barreras** para este tipo de aplicaciones con baterías :



- Legislación todavía inmadura
- Sistema eléctrico con alta participación hidroeléctrica.
- Poca complejidad en tarifas.
- Mucha burocracia para acceder a beneficios.

Pero hay oportunidades...

# Y en Colombia ??

- Hay **37 cabeceras municipales** ubicadas en las **zonas no interconectadas**.
- Utilizan en su mayoría energía de **generadores térmicos**.
- Existe la **oportunidad** de aumentar la participación de **ERs** en estas redes aisladas utilizando baterías para proveer un **servicio de alta calidad y disminuir costos** de provisión.





# Y en Colombia ??

Se avecinan **cambios en el contexto Colombiano** que pueden abrir **nuevas oportunidades** para modelos como los mencionados.



- Se regulará la inyección a la red en pequeña escala.
  - Límites de potencia?
  - Límites de energía?
  - Periodos de net-metering?
- Aumento en precios de electricidad vs. Disminución en precios de baterías.
- Nuevos modelos tarifarios?
- Renovación de redes eléctricas?
- Vehículos eléctricos?

Y finalmente cabe recordar...

Aunque el contexto no siempre promueve la innovación,  
muchas veces la innovación es capaz de cambiar el  
contexto.



Muchas gracias por su atención!

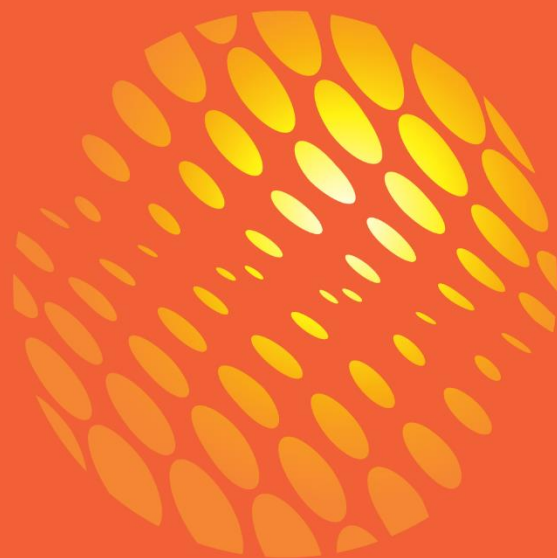
Luis Miguel Diazgranados M.Sc.

luismiguel@aurorasolar.com.co



# Fuentes Imagenes

Slide	Fuente	Slide	Fuente
3	<a href="https://ciencias.uniandes.edu.co/">https://ciencias.uniandes.edu.co/</a> <a href="http://www.greenfactory.com.co/">http://www.greenfactory.com.co/</a> <a href="https://www.ise.fraunhofer.de">https://www.ise.fraunhofer.de</a> Wikimedia	18,23	<a href="http://scitelsys.com">http://scitelsys.com</a>
		20	<a href="http://animus-csr.com">http://animus-csr.com</a>
		25	<a href="http://northernutilities.co.uk">http://northernutilities.co.uk</a>
4	<a href="https://www.revolvesolar.com/the-sun-to-rule-them-all-solar-energys-potential/">https://www.revolvesolar.com/the-sun-to-rule-them-all-solar-energys-potential/</a>	26	Altairnano
5	<a href="https://commons.wikimedia.org">commons.wikimedia.org</a>	27	<a href="https://www.yunicos.com">https://www.yunicos.com</a>
6	HALEY LUNA Steve Harrington	28	<a href="https://www.ise.fraunhofer.de">https://www.ise.fraunhofer.de</a>
7	<a href="http://www.ecmag.com">http://www.ecmag.com</a>	29	Sandia National Laboratories: Initial Operating Experience of the La Ola 1.2-MW Photovoltaic System
8	Modificado de Badwal et.al 2014	30	<a href="https://www.yunicos.com">https://www.yunicos.com</a>
9	<a href="http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/power/2-how-do-batteries-work.html">http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/power/2-how-do-batteries-work.html</a>	31	<a href="http://media-cache-ec0.pinimg.com/736x/0e/a8/bb/0ea8bb92d82155dedbff839911155d4b.jpg">http://media-cache-ec0.pinimg.com/736x/0e/a8/bb/0ea8bb92d82155dedbff839911155d4b.jpg</a>
10	Trojan batteries sustainable-nano.com <a href="http://www.lithiumion-batteries.com">http://www.lithiumion-batteries.com</a>	32	IPSE: INFORME RENDICIÓN SOCIAL DE CUENTAS
15	Modificado de AECOM Energy Storage Study	33	<a href="https://i.ytimg.com/vi/n0Huz01F0zc/maxresdefault.jpg">https://i.ytimg.com/vi/n0Huz01F0zc/maxresdefault.jpg</a>
17	<a href="http://www.avertia.es">http://www.avertia.es</a>	34	<a href="http://teslauto.ru">http://teslauto.ru</a>



[www.feriaexposolar.com](http://www.feriaexposolar.com)  
[info@feriaexposolar.com](mailto:info@feriaexposolar.com)

Mayo  
**19, 20 y 21**

Centro Internacional  
de Convenciones y  
Exposiciones Plaza Mayor  
de Medellín



ExpoSolarColombia



@ExpoSolarCol